



AURINKOENERGIASELVITYS

Verkkoon kytketyt järjestelmät

Antero Kuusisto

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan
suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

ANTERO KUUSISTO:
Aurinkoenergieselvitys
Verkkoon liitetyt järjestelmät

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Huhtikuu 2013

Vaikka aurinkoenergiaa hyödyntävien teknologioiden investointikustannukset ovat jo saavuttamassa tilanteen, jota voidaan sanoa taloudellisesti kannattavaksi, kehittyvät valmistustekniikat ja materiaalit kiihtyvällä tahdilla entistäkin kustannustehokkaammiksi. Tästä kehityksestä ja sähköenergian markkinahinnan tasaisesta kasvusta huolimatta aurinkoenergiasta puhutaan Suomessa melko vähän.

Työssä tutkittiin aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuutta ja kokoonpanoa suurkiinteistöympäristössä. Tutkinnat toteutettiin teknis-taloudellisesta näkökulmasta.

Ennen laskentoja käsitellään aiheeseen liittyvää teorial tietoa sekä selvitetään, mitkä tekijät vaikuttavat aurinkosähköisen tehonsyöttöjärjestelmän hyötysuhteeseen.

Laskennat suoritettiin kolmelle erilaiselle 100 m²:n laajuiselle aurinkopaneelistolle. Arvoissa otettiin huomioon Suomen ilmastolliset olosuhteet ja muut tehon tuottoon vaikuttavat tekijät.

Aurinkosähköisillä tehojärjestelmillä on huomattavat mahdollisuudet hiilineutraalina energiantuotantomenetelmänä. Työn tutkimukset osoittavat, että vuonna 2013 teknologia ei ole vielä taloudellisesti kannattava Suomen olosuhteissa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
TAMK University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

ANTERO KUUSISTO:
Solar Energy Research
On Grid Solar Systems

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 1 page
April 2013

Global warming and constantly growing conversation about greenhouse effect brings healthy interest towards renewable energy sources. Industrialized countries commit to increasing the percentage of renewable energy production in the near decades. Not only countries, but also corporations take part to these projects.

In ten years, solar energy technology in Finland will be at the point in which it can be called financially profitable. Nevertheless, materials and production methods are becoming more and more cost-effective. Regarding this and the ever increasing electricity market price, solar energy conversation in Finland is somewhat minor.

This thesis researches on-grid solutions in solar energy technology. Research is done in technical- and economical point of view, and it also discusses topical solar energy news. Calculations are made on three different 100 m² PV panel systems.

The findings indicate that solar technology has great potential as a renewable energy source, but isn't yet economically profitable solution in Finland.

Key words: solar energy, on-grid, energy production, PV, photo-voltaic

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TIETOA AURINKOENERGIAJÄRJESTELMISTÄ	6
2.1	Aurinkoenergian teoria.....	6
2.2	Aurinkosähköisten tehonsyöttöjärjestelmien teoria	11
2.2.1	Keskittävä aurinkovoima	11
2.2.2	Aurinkopaneelit	12
2.2.3	Tulevaisuuden teknologiat	13
2.3	Verkkoon kytketyn järjestelmän komponentit.....	15
2.3.1	Aurinkopaneelit	16
2.3.2	Vaihtosuuntaajat	16
2.3.3	Suojaus	17
3	ENERGIATUKI JA VERKKOON LIITYNNÄN VAATIMUKSET	18
3.1	Energiatuki.....	18
3.2	Syöttötariffit	19
3.3	Hajautetun tuotannon liittäminen jakeluverkkoon.....	20
4	VERKKOON KYTKETYN JÄRJESTELMÄN TARKASTELU	21
4.1	Vertailtavat aurinkopaneelit.....	21
4.1.1	Victron monikideaurinkopaneeli	21
4.1.2	Zeus – monikideaurinkopaneeli	22
4.1.3	Sanyo –HIT yksikideaurinkopaneeli	23
4.2	Todellisen hyötysuhteen laskenta	24
4.3	Investointikustannukset ja sähkötehon tuotto	26
4.4	Tuloslaskelmat 20 vuoden jaksolle	29
4.5	Tulevaisuuden hintakehitys	31
5	SUOMALAISIA AURINKOENERGIAPROJEKTEJA.....	33
5.1	ABB:n taajuusmuuttajatehdas Helsingissä	34
5.2	Porin uimahalli.....	35
5.3	Jyväskylän yliopisto	37
5.4	Saarijärven keskuskoulu	38
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT.....	39
	LÄHTEET	41
	LIITTEET.....	44
	Liite 1. Suomen vuosittainen aurinkoenergiapotentiaali	44

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos ja alati kiihtyvä keskustelu kasvihuonepäästöistä luovat painetta valtioille lisätä vihreämmän teknologian käyttöä. Useat teollisuusmaat sitoutuvatkin tavoitteisiin lisätä merkittävästi uusiutuvan energian osuutta kokonaissähköntuotannostaan lähivuosikymmeninä. Tästä johtuva energiatuen ja syöttötariffijärjestelmien yleistyminen johtaa siihen, että enenevissä määrin myös suurkiinteistöt osoittavat kiinnostusta uusiutuvan energian hankkeisiin. Ala onkin muutosvaiheessa. Vaikka teknologioiden investointikustannukset ovatkin saavuttamassa tilanteen jota voidaan sanoa taloudellisesti kannattavaksi, kehittyvät valmistustekniikat ja materiaalit jatkuvasti entistäkin kustannustehokkaammiksi.

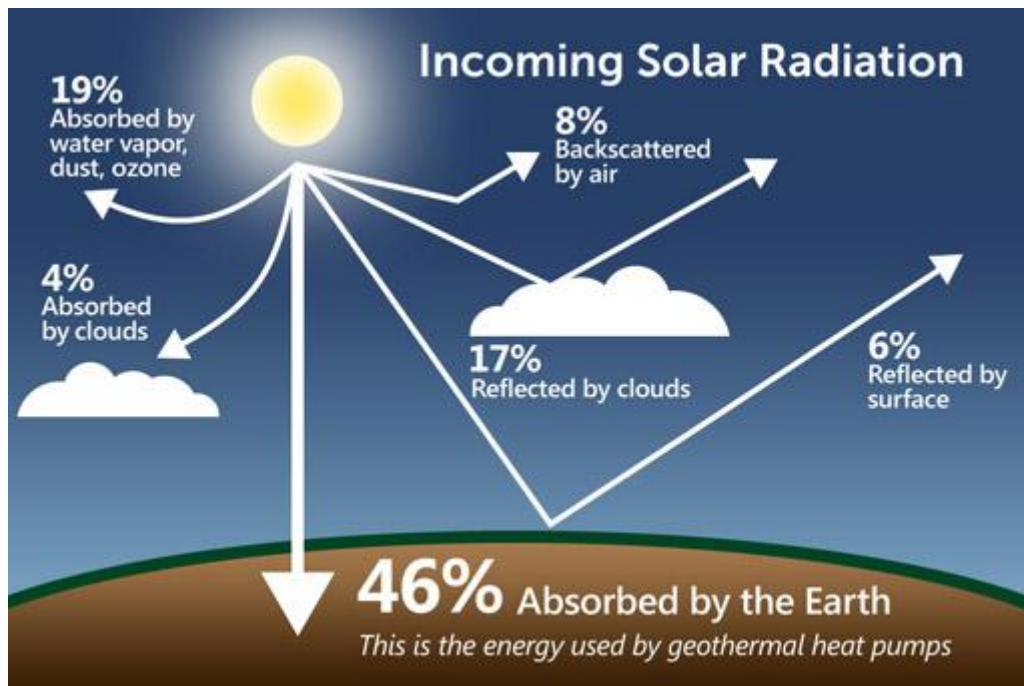
Suurkiinteistöissä aurinkosäteilyn hyödyntäminen käy entistä mielenkiintoisemmaksi. Katolle piiloon asennettavasta laitteistosta voi lähitulevaisuudessa saada taloudellista hyötyä, sekä käyttää tuotettua sähköä mitä erinäisemmissä kulutuskohteissa. Työssä tutkitaan sähköverkkoon liitettyä aurinkoenergiajärjestelmää suurkiinteistökohteessa. Tarkastelu toteutetaan teknis-taloudellisesta näkökulmasta, sekä ohessa tutustutaan ajankohtaisiin aurinkosähköisiin tehojärjestelmiin.

2 TIETOA AURINKOENERGIAJÄRJESTELMISTÄ

Aurinkokuntamme ainoan tähden säteilyenergiaa on hyödynnetty läpi ihmiskunnan historian. Viime vuosikymmeninä tämän puhtaan energian lähteen arvo on noussut, kun alati kasvavat kasvihuonepäästöt muokkaavat planeettamme ilmakehää peruuttamattomasti. Maailman päästösopimuksessa on asetettu tavoitteeksi puolittaa päästöjen määrä vuoden 2000 tasosta vuoteen 2050 mennessä (Tekniikka&Talous 2007). Tavoitteen toteutuminen edellyttää muun muassa fossiilisten polttoaineiden käytön radikaalia vähentämistä ja siirtymistä uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Tässä luvussa käsitellään aurinkoa energianlähteenä ja teknologioita, joilla tätä energiaa valjastetaan sähköntuotantoon.

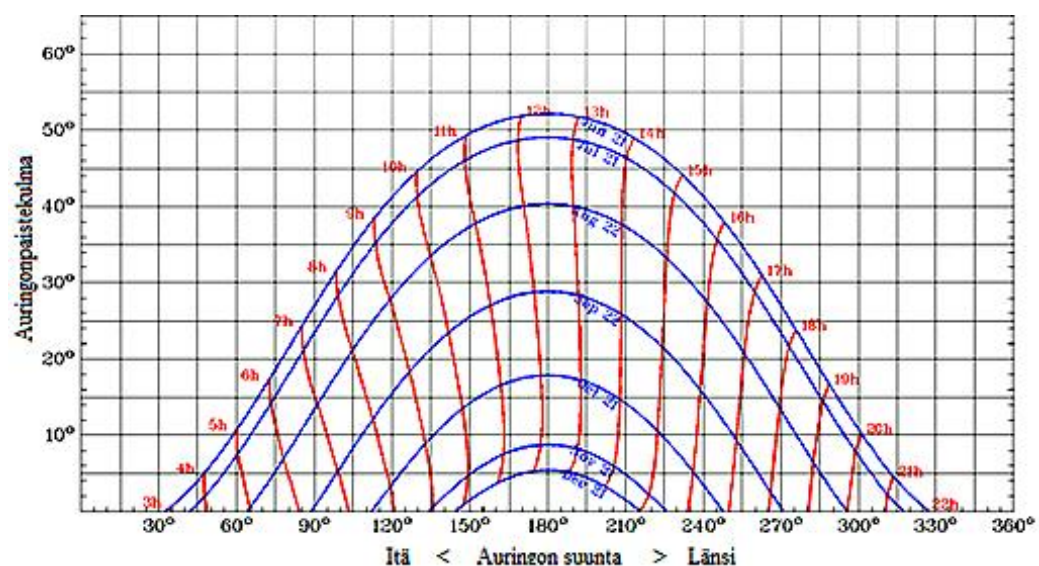
2.1 Aurinkoenergian teoria

Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon säteilyenergian hyödyntämistä sähkön- tai lämmön tuotannossa. Säteilyenergia saa alkunsa auringossa, joka on vedystä ja heliumista koostuva kaasupallo. Auringon ytimessä vety-ytimet eli protonit yhdistyvät tuottaen heliumia ja vapauttaen suuria määriä energiaa. Kyseessä on siis fuusioreaktio, joka antaa auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kW:n kokonaistehon. Auringon säteilemästä tehosta maapallon ilmakehään päätyy $1,7 \times 10^{14}$ kW, joka vastaa noin 20 000 kertaa maapallon teollisuuden ja lämmityksen vaatimaa tehoa. Tästä tehosta maan pinnalle päätyy suoran säteilyn ja hajasäteilyn kautta noin 50 %, jonka jakautuminen häviöihin ilmakehässä on havainnollistettu kuvassa 1. Pinnalle tuleva kokonaissäteily on siis suoran auringonsäteilyn ja hajasäteilyn summa. (Erat, Erkkilä & Nyman 2008, 10.)



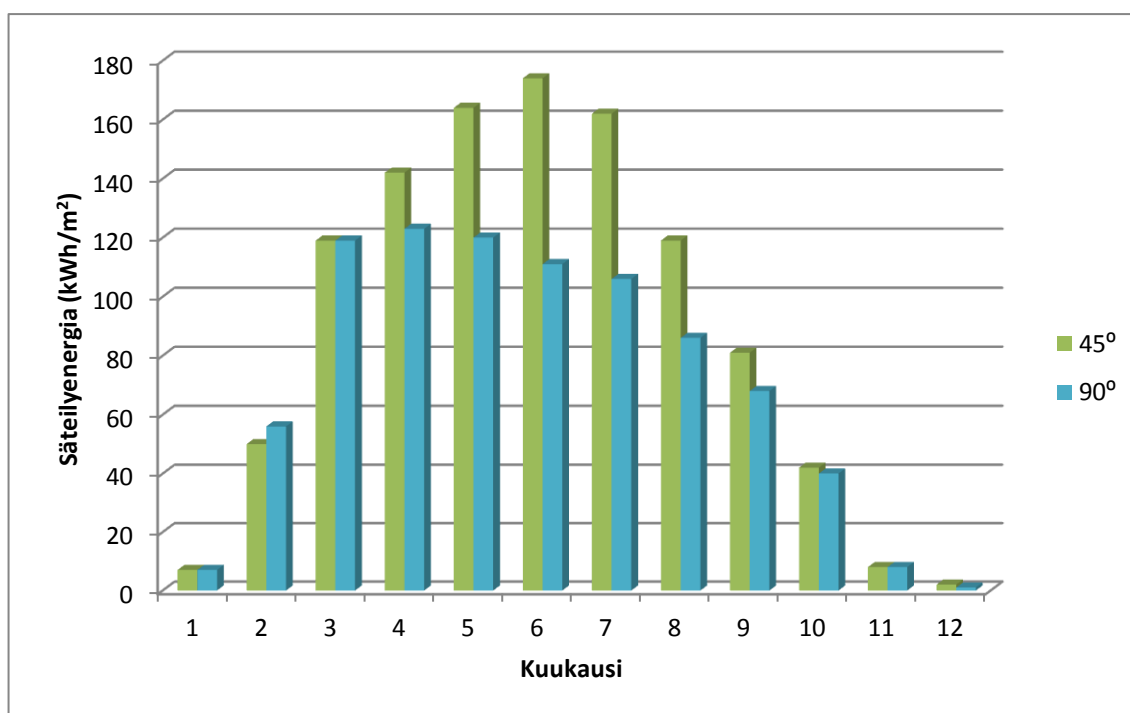
KUVA 1. Aurinkosäteilyn siroutuminen ilmakehässä (GeoSystems)

Suomi sijaitsee pohjoisen napapiirin kohdalla, jossa vuodenajan merkitys päivän pituuteen ja aurinkosäteilyn määrään on hyvin merkittävä. Kesäkuussa Etelä-Suomessa päivän pituus on noin 19 tuntia ja aurinko on korkeimmillaan 53° kulmassa. Joulukuussa samalla alueella paistetunteja on päivässä viisi, ja korkeimmillaan aurinko paistaa 6° kulmassa (kuvio 1). Koska suuntaus ja atsimuuttikulma ovat merkittäviä tekijöitä tehon tuoton kannalta, tulee alueellinen aurinkosäteilyn käyttäytyminen tuntea aurinkopaneeleiden sijaintia, suuntausta ja kallistuskulmaa suunniteltaessa.



KUVIO 1. Auringonpaistekulma ja -suunta Tampereella aikavälillä kesäkuu – joulukuu (University of Oregon 2012)

Kuvio 2 havainnollistaa vuodenaikojen vaikutuksia Suomessa havaittavaan säteilytehon määrään. Vaakatasossa olevalle 1m^2 kokoiselle alueelle suurin säteilymäärä kohdistuu kesäkuussa, jolloin aurinko paistaa korkeimmalta. Samalla alueella sijaitsevalle etelään suunnatulle tasolle, joka on asennettu pystysuoraan, saapuu kesäkuussa noin 37 % vähemmän säteilyä. Toisaalta pystysuoraan asennettu taso absorboi keväisin enemmän säteilytehoa, mutta hyöty katoaa keskikesän huonon paistekulman myötä. Hieman parempi tehon tuotto keväisin johtuu siitä, että lumi absorboi huonosti auringonsäteilyä, mutta heijastaa sitä hyvin tehokkaasti. Optimaaliseen, noin 45° kulmaan asennettu taso absorboi jokaisena vuodenaikana lähes maksimaalisen säteilytehon. Mikäli käyttökohteen huippukulutus sijoittuu esimerkiksi aamupäivään, voidaan paneelit suunnata kohti aamuaurinkoa huippukulutuksen ja maksimaalisen tehontuoton yhdenaikaistamiseksi. (Erat, Erkkilä & Nyman 2008, 199.)

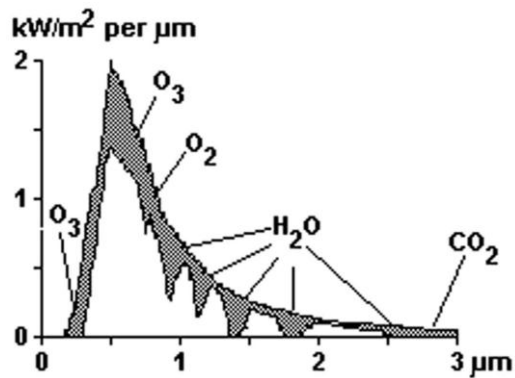


KUVIO 2. Kuukausittainen auringon säteilyenergia Jyväskylässä eri kallistuskulmilla. Vuosittainen kokonaissäteily 45° kulmassa on 1070kWh/m^2 . (Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008)

Pilvisyyden vaikutus maan pinnalle saapuvan aurinkoenergian määrään on suhteellisen vähäinen. Mikäli pilvet absorboisivat voimakkaasti säteilyä, siirtyisi energia suoraan lämmöksi aiheuttaen pilvien haihtumisen. Pilvet siis heijastavat ja sirouttavat säteilyä, josta aiheutuu hajasäteilyä. Tästä syystä hajasäteilyn osuus pilvisellä säällä on 100 %, kun kirkkaalla auringonpaisteella hajasäteilyä on noin 30 %. Pilvet heijastavat pienen

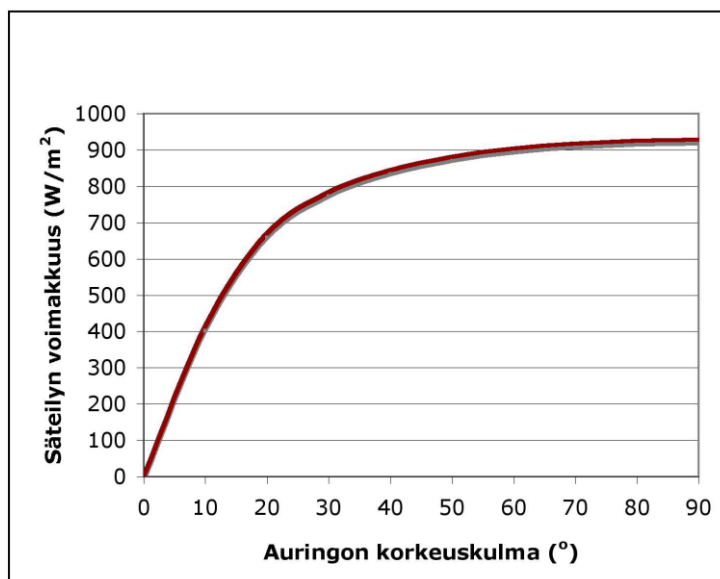
osan säteilystä takaisin avaruuteen, vaikuttaen maahan saapuvan kokonaissäteilyn määrään.

Kuvion 3 mukaisesti saapuvaa säteilyä vaimentavat ilmakehässä esiintyvä vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), happi (O_2) sekä otsonikerros (O_3).



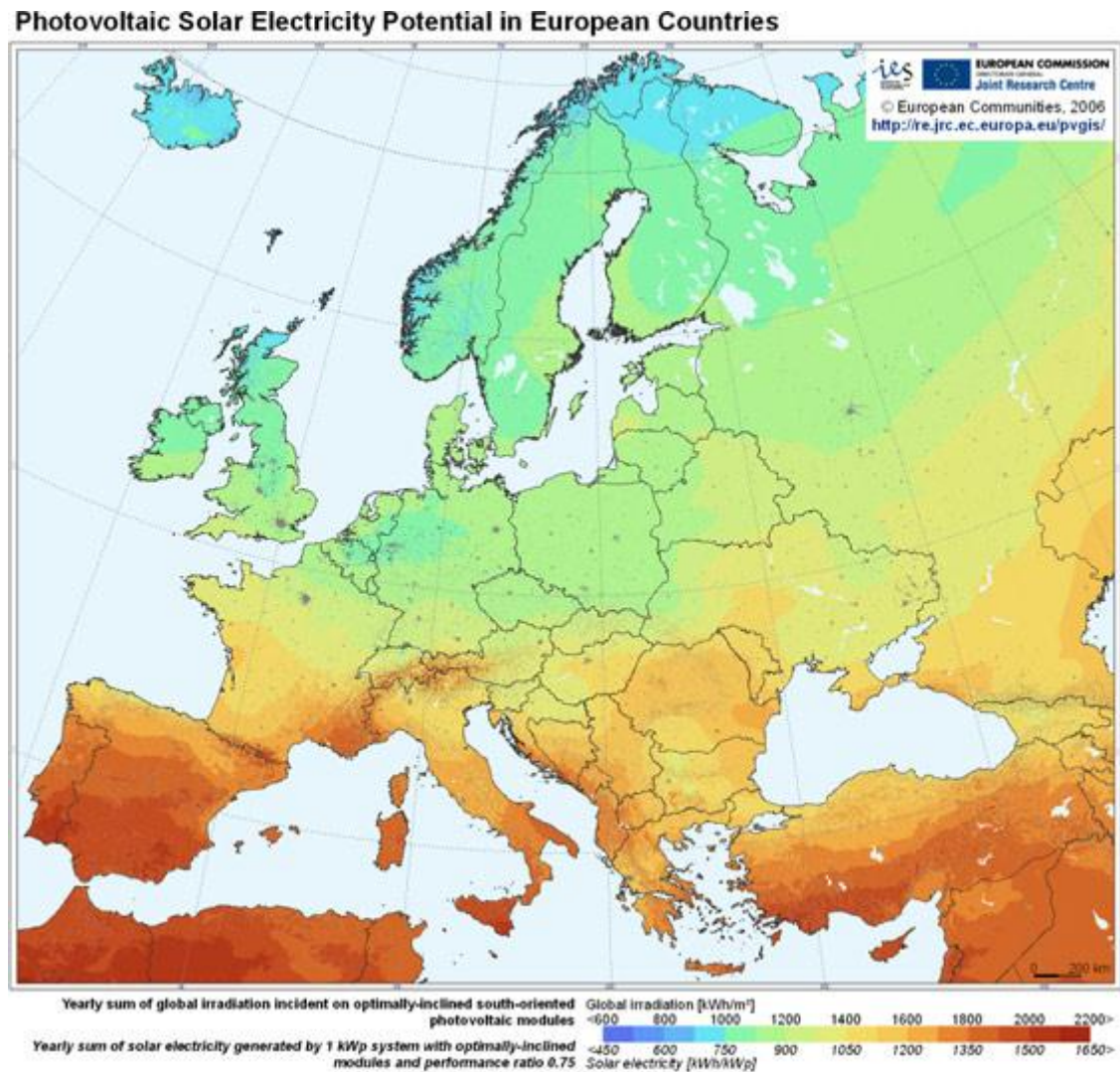
KUVIO 3. Ilmakehän kaasujen vaimentava vaikutus saapuvaan auringon säteilyyn (Savonia).

Auringon säteilyteho maan pinnalla on siis pienimmillään auringon noustessa ja laskiessa, koska säteet kulkevat häviöitä aiheuttavassa ilmakehässä pidemmän matkan. Vastaavasti säteilyteho kasvaa suuremmaksi, mitä lähempänä 90° kulmaa säteet saapuvat maan pinnalle (kuvio 4). (Savonia.)



KUVIO 4. Auringon korkeuskulman vaikutus maan pinnalle saapuvaan auringon säteilyyn Varkaudessa (Savonia).

Lähellä päiväntasaajaa, jossa aurinko paistaa päivisin lähes 90 asteen kulmassa maan pintaan nähden, vastaanotetaan kaksinkertainen määrä aurinkosäteilyä verrattuna Skandinaavian olosuhteisiin. Kuva 2 havainnollistaa ilmakehän häviöllisen vaikutuksen aurinkosäteilyn määrään Euroopassa. Vastaava kuva Suomen vuosittaisesta aurinkoenergiapotentiaalista liitteessä 1.



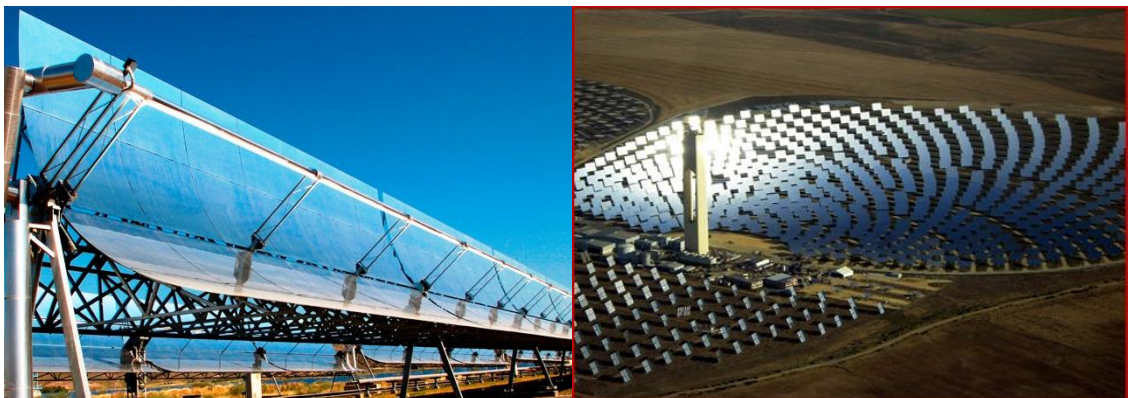
KUVA 2. Aurinkosäteilyn määrä Euroopassa vuonna 2006. (MdsIdeas 2006)

2.2 Aurinkosähköisten tehonsyöttöjärjestelmien teoria

Aurinkopaneeli on aurinkosäteilyä sähköenergiaksi muuttava komponentti, joka koostuu useista aurinkokennoista. Teknologia käyttää hyväkseen valosähköistä ilmiötä (photovoltaic effect), jota ensimmäisenä tutki Alexandre-Edmond Becquerel jo vuonna 1839. Sähköntuotantotapana aurinkopaneelit ovat yleisiä niin sanotussa saarekekäytössä alueilla, johon valtakunnallisen sähköverkon siirtolinjan rakentaminen ei ole kannattavaa tai musta syystä mahdollista. Suuren mittakaavan tuotantoa rakennetaan lähes poikkeuksetta lähelle päiväntasaajaa hyvien ilmastollisten olosuhteiden vuoksi. Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan; keskittävään aurinkovoimaan ja aurinkopaneeleihin.

2.2.1 Keskittävä aurinkovoima

Keskittävä aurinkovoima kerää auringonsäteet asetettuun pisteeseen käyttäen parabolisia peilejä. Polttopisteessä väliaine kuumenee, johon varastoitunutta energiaa hyödynnetään lämpö- tai paineprosessin kautta sähköntuotantoon. Kyseistä teknologiaa käytetään hyvin monipuolisesti. Esimerkiksi päiväntasaajan alueen kehitysmaissa parabolista peiliä käytetään veden- ja ruoan lämmittämiseen kattiloissa, kun taas Californiaan on vuonna 2013 valmistuvaksi suunniteltu 370MW suuruinen keskittävää aurinkovoimaa hyödyntävä aurinkopuisto. Kuvassa 3 on kaksi hyvin erityyppistä keskittävää aurinkoenergiaratkaisua. (Recharge News 2010).

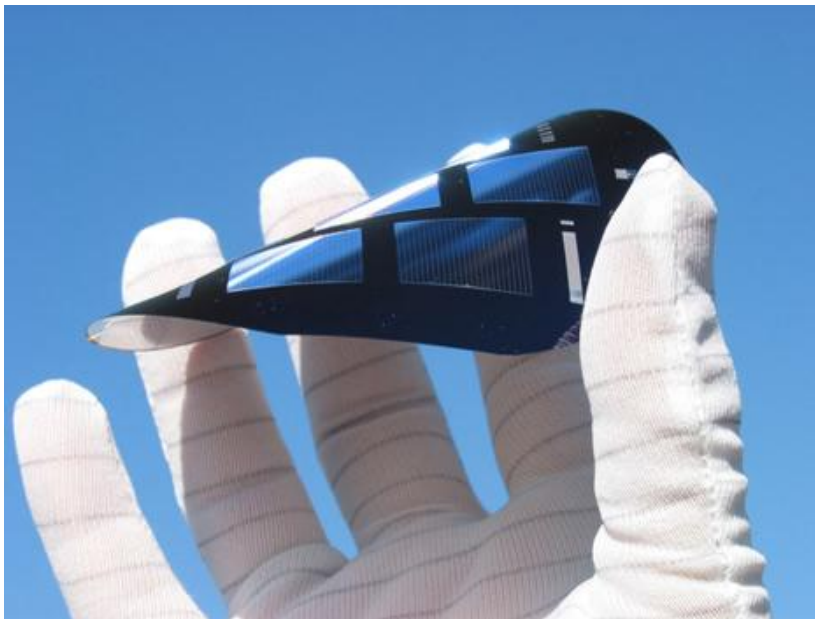


KUVA 3. Keskittävää aurinkovoimaa hyödyntäviä aurinkopuistoja. (EnergyNext 2012.)

2.2.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat toisiinsa sarjaan liitetyistä aurinkokennoista, jotka ovat suojattu koteloinnilla. Yleisin aurinkopaneeleiden valmistukseen käytetyistä puolijohdemateriaaleista on pii, josta valmistettuja kennoja kutsutaan ensimmäisen sukupolven aurinkokennoiksi. Teknologian kehittymisen myötä toisen sukupolven kennot, eli ohutkalvoteknologia on kirinyt piin etumatkaa.

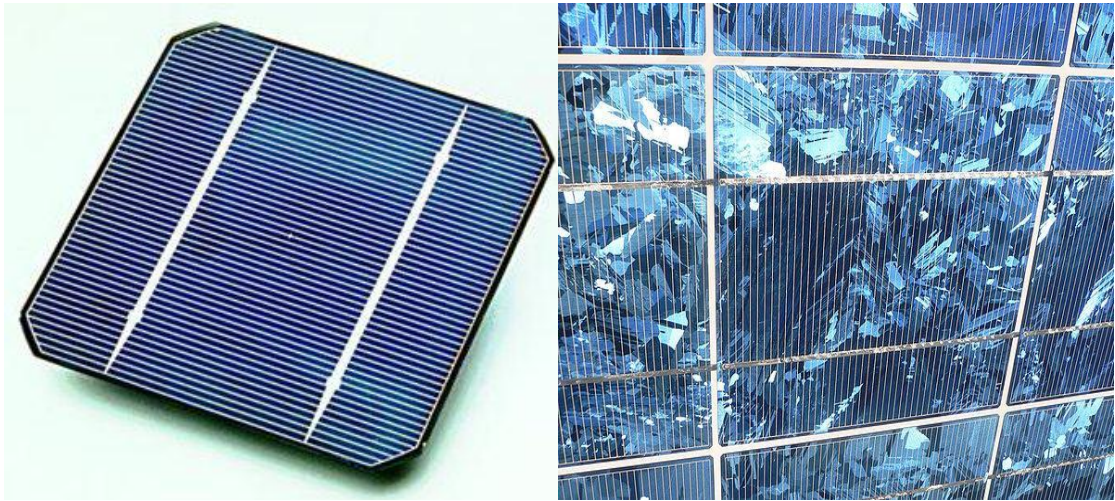
Ohutkalvokennot ovat ohuempia ja halvempia rakentaa kuin perinteiset pii-kennot, mutta eivät yllä vielä yhtä hyvään hyötysuhteeseen. Ohutkalvokennoista voidaan valmistaa läpinäkyviä ja taipuisia, jolloin kyseisellä teknologialla on mahdollista päällystää esimerkiksi ikkunat, tai kokonainen lasitettu rakennus. Ohutkalvoteknologialla onkin monia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat piikennoja monipuolisemmat käyttökohteet.



KUVA 4. Ohutkalvotekniikalla valmistettu aurinkokenno. (Genergia 2013)

Kolmannen sukupolven kennot ovat jo kehitysvaiheessa, ja niillä tarkoitetaan nanotekniikkaa hyödyntäviä kennoja. Tavoitteena on kehittää nanokennoista piin kanssa hyötysuhteessa kilpaileva teknologia, jota on merkittävästi halvempi valmistaa. (Kompo2010 2010.)

Piistä valmistetut kennot voidaan jaotella kahteen luokkaan; yksikiteisiin ja monikiteisiin. Yksikiteiset pii-kennot ovat hyötysuhteeltaan parempia, mutta niiden valmistaminen on monivaiheisempaa ja kalliimpaa. Monikiteisestä piistä valmistettujen paneelien valmistus on helppoa, mutta valmistustekniikasta johtuen hilavirheitä esiintyy huomattavasti yleisemmin. Hilavirheet vaikuttavat sähkövirran kulkuun kennon sisällä heikentäen hyötysuhdetta.



KUVA 5. Yksikiteisestä piistä valmistettu kenno vasemmalla, monikiteinen kenno oikealla. (Genergia 2013)

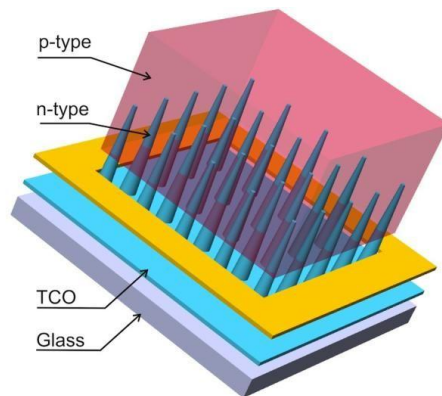
Rakennukseen asennettavaa aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa merkittävimmät tekijät ovat käytävissä oleva asennuspinta-ala ja jäähdytys. Paneelit tulee sijoittaa katoille tai etelän puoleisille ulkoseinustoille niin, että auringon ja paneelin välille osuu päivän aikana mahdollisimman vähän kiinteitä varjostavia esteitä. Myös jäähdyttävälle ilmalle on suunniteltava mahdollisimman esteetön kierto paneelien ympärille. Lämpöä absorboiville pinnoille kuten mustille huopakatoille paneeleita asennettaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota jäähdytykseen.

2.2.3 Tulevaisuuden teknologiat

Alan tulevaisuus näyttää valoisalta. Aurinkopaneelien valmistuskustannukset laskevat jatkuvasti, joka jo itsessään riittää luomaan kysyntää alalle. Myös paneelien hyötysuhteet kasvavat lupaavaa tahtia. Nykyään laboratorio-olosuhteissa on kyetty jopa yli 40% hyötysuhteisiin. Halvemmat komponentit ja entistä paremmat hyötysuhteet edistävät laitteistojen myyntiä. Optimistisimmat tutkijat ovat ilmoittaneet, että alalla

niin sanottu Grid-Parity saavutetaan jo vuonna 2015. Tämä tarkoittaa, että aurinkosähköjärjestelmän eliniän aikana saatu vähennys sähkölaskusta on suurempi kuin järjestelmän investointikustannukset.

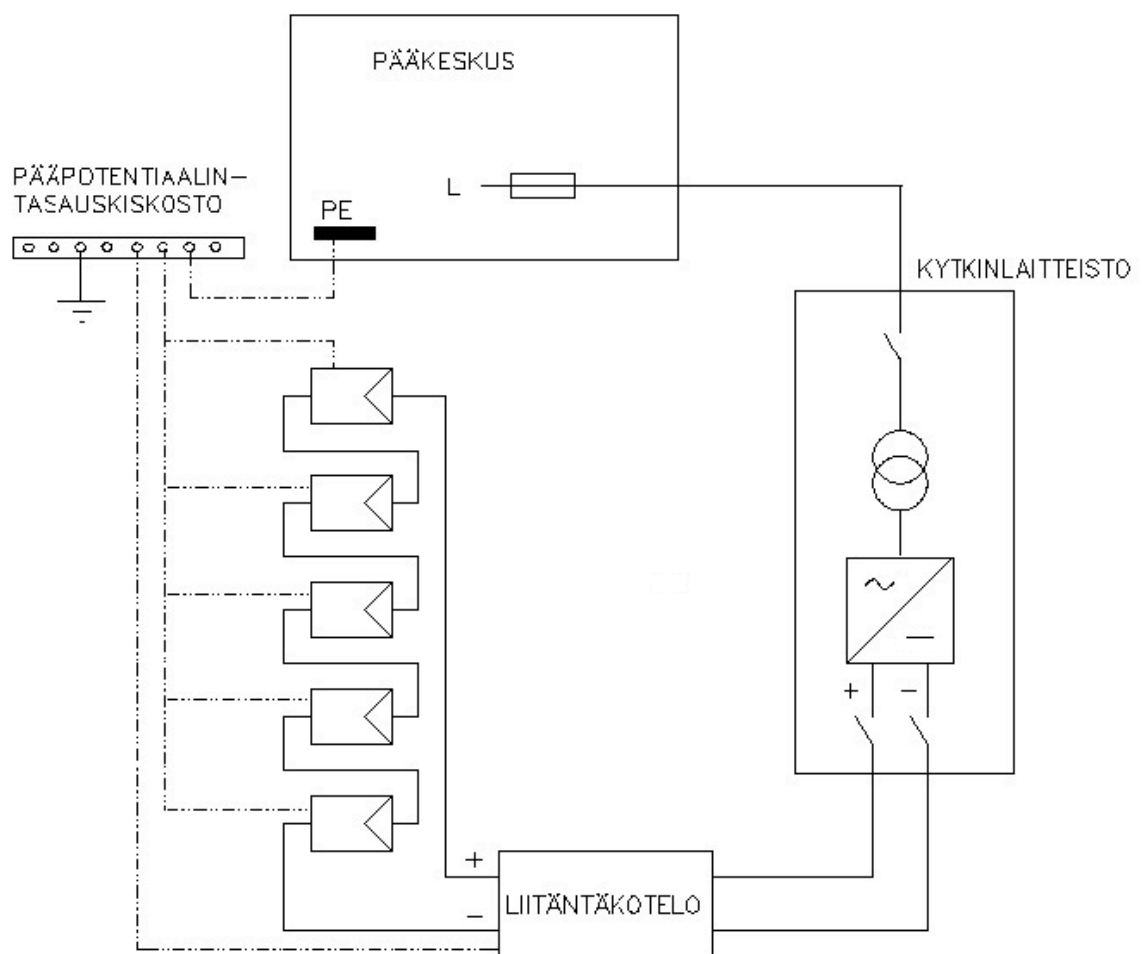
Tutkijoiden mukaan 3D-teknologiaa käyttämällä saadaan tulevaisuudessa valmistettua aurinkokennoja, joiden hyötysuhde on yli 80% parempi verrattuna nykyisiin komponentteihin. Teknologia perustuu nanokartiioihin, jotka muodostavat voimakkaan sähkökentän n-tyyppin piikin huipun läheisyydessä (kuva 6). Tällä tavoin voitaisiin välttää nykyisten kennojen ongelmakohdat, eli materiaalien epätäydellisyys ja siitä johtuva heikohko kyky kuljettaa auringonvalon fotonien varauksia. Uutisiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä tutkijoiden kommentteja voivat siivittää tarpeet houkutella uusia investoijia projektieihin. (co2-raportti 2011)



KUVA 6. 3D-teknologiaa hyödyntävä nanokartiokenno tutkijoiden kuvassa. (co2-raportti 2011)

2.3 Verkkoon kytketyn järjestelmän komponentit

Verkkoon kytketty järjestelmä tarkoittaa laitteistoa joka on kytketty käyttökohteessa valtakunnan jakeluverkkoon. Järjestelmä ei välttämättä sisällä akustoa, jolloin paneelistolta tuleva teho käytetään joko suoraan kulutuskohteessa, tai myydään verkkoon. Tämän vuoksi kokonaisinvestoinnit ja huoltokustannukset pienenevät, koska akusto on merkittävä kuluerä aurinkoenergiakokoonpanoissa. Sähkön myyminen verkkoon tuo kuitenkin mukanaan ongelmia, joihin ei ennen pientuotantoaikakautta ole osattu varautua. Suojauksesta tarkemmin kappaleessa 2.3.3.



KUVA 7. Esimerkki verkkoon kytketystä aurinkopaneelijärjestelmästä.

2.3.1 Aurinkopaneelit

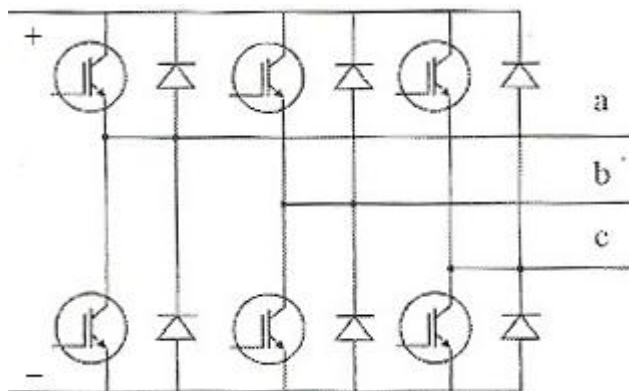
Aurinkopaneelien tekniset näkökohdat ovat esitetty kappaleessa 2.2.

Paneeleita valittaessa tulee tietää mihin tarkoitukseen paneelistoa ollaan hankkimassa. Mikäli suurkiinteistössä ei ole erityistä kulutuskohdetta jota halutaan ladata tai syöttää aurinkoenergialla, voidaan paneelisto mitoittaa esimerkiksi käytössä olevan asennus pinta-alan mukaan. Jos aurinkoenergialla halutaan ylläpitää sähkötrukkien latauspistettä, voidaan paneelit mitoittaa pisteen energiankulutuksen mukaan. Eri mitoitusperusteita on yhtä monia kuin käyttökohteitakin.

2.3.2 Vaihtosuuntaajat

Invertterillä eli vaihtosuuntaajalla muunnetaan aurinkokennoilta tuleva DC – jännite vaihtosähköksi kulutuslaitteita tai tehon verkkoon syöttöä varten. Vaihtosuuntaaja toimii hakkuriteholähteellä, joka käytännössä on oskillaattorin ohjaama transistorikytkentä. Hakkuri pilkkoo sisään tulevan jännitteen kanttiaalloksi, joka johdetaan tarvittaessa muuntajaan. Muuntajan avulla saadaan aikaan puhdas ja halutun suuruinen siniaalto.

Invertterit mitoitetaan aurinkopaneeliston kokonaistehon mukaan. Esimerkiksi KACO valmistaa suuriin aurinkopaneelijärjestelmiin asennettavia yli 5kW verkkoinverttereitä. Kuvassa 8 esimerkki vaihtosuuntaussillasta. Silta muodostuu ohjattavista puolijohtekomponenteista ja vastarinnan kytketyistä diodeista.



KUVA 8. Vaihtosuuntaussilta (Hietalahti 2011, s.91).

2.3.3 Suojaus

Verkkoliityntä tuo aurinkosähköjärjestelmälle uusia vaatimuksia. Vikatilanteessa pientuotanto tulee nopeasti ja luotettavasti kytkeytyä irti verkosta. Sähköverkko on suunniteltu siirtämään teho kulutuspisteisiin. Pientuotannon ja verkkoliitynnän tapauksessa tehon siirron suunta muuttuu, joka aiheuttaa pientuotannon kasvaessa häiriöitä siirtoverkkoon.

Järjestelmään asennettavien suojalaitteiden tulee ehkäistä kappaleessa 3.2 mainitut ongelmatilanteet ja täyttää siinä mainitut standardit.

3 ENERGIATUKI JA VERKKOON LIITYNNÄN VAATIMUKSET

Kappaleessa käsitellään aurinkoenergiajärjestelmälle myönnettävien tukien ehtoja, sekä käydään läpi säädökset ja ohjeet hajautetun tuotannon sähköverkkoon liitynnästä.

3.1 Energiatuki

Tähän kappaleeseen on koottu opinnäytetyön aiheeseen liittyvää tärkeintä sisältöä työ- ja elinkeinoministeriön internet sivuilta aiheeseen *energiatuki* liittyen. Lainaukset ovat otettu päivämäärällä 27.3.2013. Uusimmat linjaukset ovat katsottavissa internetosoitteessa www.tem.fi.

Työ- ja elinkeinoministeriön lisäksi sähköverkkoyhtiöt voivat myöntää korvausta hajautetun tuotannon verkkoon liittämistä. Tampereen sähkölaitos myöntää 130 € korvauksen yli 5kW pientuotannon verkkoon liittännästä.

Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiatukea sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät

- 1) uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä,
- 2) energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista,
- 3) vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.

(TEM 2013, energiatuki.)

Alaotsikossa *tuettavat hankkeet* käsitellään tyypillisiä tuen piiriin kuuluvia uusiutuvan energian hankkeita. Sähköntuotannon osalta tuettavia hankkeita tukiprosentteineen ovat seuraavat.

Pienvesivoimalat	15–20 %
Kaatopaikkakaasuhankkeet	15–20 %
Pientuulivoima	20–25 %
Aurinkosähköhankkeet	30 %

(TEM 2013, tuettavat hankkeet.)

Uusiutuvan energian käyttöön liittyviä investointeja, joita voidaan tukea, ovat muun muassa

- pienet sähköntuotantohankkeet
- uuden teknologian demonstraatiohankkeet

(TEM 2013, tuen määrä.)

Energian säästöön ja energiankäytön tehostamista sekä uusiutuvan energian käyttöä koskevia tuettavia selvityshankkeita ovat

- energiakatselmukset
- energia-analyysit

(TEM 2013, tuen määrä.)

Energiatukihakemus tulee toimittaa ennen hankkeen aloittamista siihen elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskukseen, jonka toiminta-alueella investointi toteutetaan. Hakemukseen tarvittavat lomakkeet ja selvitys tarvittavista liitteistä on ladattavissa TEM – internet sivuilta. (TEM 2013, hakeminen ja maksatus.)

3.2 Syöttötariffit

Tällä hetkellä Suomessa ei ole käytössä syöttötariffijärjestelmää PV teknologialle. Tariffia käytetään esimerkiksi tuulivoiman ja biokaasun tapauksessa, mutta aurinkovoimaa tämä ei vielä koske. Saksassa aurinkoenergian syöttötariffi on ollut voimassa jo pidemmän aikaa, ja tällä hetkellä korvaus sähköverkkoon syötetystä energiasta 24,43 snt/kWh, sähkön hinnan ollessa 24,04 snt/kWh. European Photovoltaic

Industry Associationin (EPIA) mielestä syöttötariffin käyttöönotto on välttämättömyys aurinkokennojen edistämiseen Euroopassa.

Syy tukemattomuuteen on aurinkoenergian huipputuoton sijoittuminen keskikesälle, jolloin energiantarve on vähäisin. Suomessa pientuotannon syöttötariffin saaminen edellyttää, ettei investointi ole saanut valtion tukea.

3.3 Hajautetun tuotannon liittäminen jakeluverkkoon

Pientuotantolaitteiston asennuksineen tulee täyttää pienjännitteisiä sähköasennuksia koskevan standardin SFS 6000 vaatimukset ja standardin SFS-EN 50438 ”Suomen tekniset vaatimukset yleisen pienjänniteverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille”. Työturvallisuusstandardissa SFS 6002 on lisäksi kuvattu muun muassa laitteiston turvallista verkosta erottamista koskevia määräyksiä.

Sähköliittymään voidaan liittää tuotantoa liittymissopimuksessa määritellyn tehon mukaisesti, jos tuotantolaitoksen käynnistyminen tai verkosta pois putoaminen ei aiheuta yli 4% jännitteen muutosta ja sähkön laatu liittämiskohdassa pysyy aina SFS-EN 50160 rajoissa.

SFS6002 standardin mukaan tuotantolaitos tulee olla erotettavissa verkosta. Erotuslaitteissa tulee olla näkyvä ilmaväli ja käyttömekanismin tulee olla lukittavissa. Jakeluverkon haltijalla tulee olla joko rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkeämahdollisuus (SF6000).

Tuotantolaitoksella on oltava riittävät suojalaitteet ehkäisemään takasyöttöriski. Tämä tarkoittaa, että tuotantolaitoksen on riittävän nopeasti irrottava verkosta Loss of Mains (LoM) –tilanteessa, eli silloin jos verkon jännite katoaa. LoM suojaus on tärkeä sähköverkkoasentajien työturvallisuuden kannalta.

.

4 VERKKOON KYTKETYN JÄRJESTELMÄN TARKASTELU

Tässä kappaleessa tarkastellaan eri paneelistojen investointikustannuksia sekä odotettua tehon tuottoa. Myyjät lupaavat 20 – 25 vuoden tehontuottotakuuta aurinkopaneeilleen, joten laskennoissa käytämme 20 vuoden tarkastelujaksoa.

4.1 Vertailtavat aurinkopaneelit

Tarkastelukokoonpanoksi on valittu yksikiteisestä- ja kaksikiteisestä piistä valmistettuja aurinkopaneeleita. Kaikki aurinkopaneelit toimivat 24V jännitetasossa, joka on suositeltu jännitetaso verkkoon liitetyissä järjestelmissä.

4.1.1 Victron monikideaurinkopaneeli

Ensimmäinen vertailtava aurinkopaneeli on Victronin valmistama. Nimellisteho on 280W, ja pinta-ala noin 2 neliometriä. Paneeli toimii 24V jännitteellä, ja on tarkoitettu verkkoon kytkettyihin järjestelmiin asennettavaksi.

TAULUKKO 2. Victron 280W aurinkopaneelin tekniset tiedot.

280W monikide paneeli	
Pinta-ala	1,94 m ²
Jännitetaso	24 V
Huipputeho	280 W _p
Hinta	679 €
Hyötysuhde	0,144

Paneelin hyötysuhde on laskettu seuraavalla kaavalla

(4.1.1.1)

$$\eta = \frac{P}{SA} * 100\% = \frac{280W}{1070 \frac{kWh}{m^2} * 1,94m^2} = 0,144$$

Jossa, P on aurinkopaneelin huipputeho

S on alueellinen aurinkosäteilyn voimakkuus (kWh/m², kuvio 2)

A on aurinkopaneelin pinta-ala

4.1.2 Zeus – monikideaurinkopaneeli

Zeuksen aurinkopaneeli on mukana vertailussa halvan hintatasonsa vuoksi. Paneeli on fyysisiltä mitoiltaan samankokoinen kuin Victronin paneeli kohdassa 4.1.1, mutta omaa huonomman hyötysuhteen ja huipputehon. Näiden ominaisuuksien heikentymisellä alenee myös hinta 190 euroa.

TAULUKKO 4. Zeus 240W aurinkopaneelin tekniset tiedot.

240W monikide paneeli	
Pinta-ala	1,94 m ²
Jännitetaso	24 V
Huipputeho	240 Wp
Hinta	489 €
Hyötys.	0,124

4.1.3 Sanyo –HIT yksikideaurinkopaneeli

Kolmas vertailtava aurinkopaneeli on Sanyon valmistama. Paneeli on yksikiteisestä piistä valmistettu, ja nimellisteholtaan 240W.

TAULUKKO 5. Sanyo 240W aurinkopaneelin tekniset tiedot.

240W yksikide paneeli	
Pinta-ala	1,39 m ²
Jännitetaso	24 V
Huipputeho	240 W
Hinta	1190 €
Hyötysuhde	0,173

Kuten aiemmin esitellyillä aurinkopaneelilla, tässäkin tapauksessa hyötysuhde lasketaan samalla tavalla. On syytä huomata yksikidepaneelin ominaisuus, että hyötysuhde kasvaa monikidepaneeliin verraten 14,4 % → 17,3 %.

4.2 Todellisen hyötysuhteen laskenta

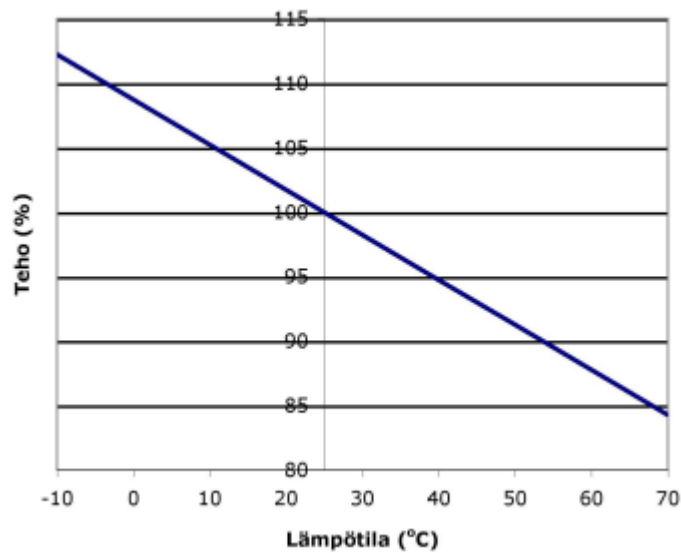
Aurinkopaneelin todelliseen hyötysuhteeseen vaikuttaa merkittävästi ilman- ja itse paneelin lämpötila. Tässä kappaleessa huomioidaan lämpötilojen aiheuttamat hyötysuhteiden vaihtelut.

Laskennoissa käytetyt kuukausittaiset aurinkosäteilyn määrät ovat kirjasta ”Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. ; Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008.2”.

Taulukko 1. Aurinkosäteilyn määrä 1m^2 alueelle Jyväskylässä eri kallistuskulmilla ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{kk}$). (Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008.)

Kallistuskulma	0°	30°	45°	60°	90°
Tammi	4	6	7	7	7
Helmi	22	43	50	55	56
Maalis	68	107	119	126	119
Huhti	109	136	142	141	123
Touko	153	167	164	155	120
Kesä	176	182	174	159	111
Heinä	160	168	162	148	106
Elo	107	120	119	112	86
Syys	61	78	81	81	68
Loka	26	38	42	43	40
Marras	6	8	8	9	8
Joulu	2	2	2	1	1
Yhteensä (kWh/m^2)	894	1055	1070	1037	845

Todellinen kuukausittainen paneelin hyötysuhde on vahvasti lämpötilariippuvainen. Erityisesti piikidekennoilla lämpötila vaikuttaa merkittävästi tyhjäkäyntijännitteeseen. Tyypillinen huipputehon lämpötilakerroin on $-0,5\% / ^\circ\text{C}$, ja parhaimmillakin kennoilla $-0,35\% / ^\circ\text{C}$. Kuvio 5 osoittaa, että hyötysuhde voi laskea jopa 10 % paneeleille normaalissa käyttölämpötilassa 60°C .



KUVIO 5. Aurinkopaneelin lämpötilan vaikutus tehontuottoon. (Suntekno 2013)

Tarkasteltaville aurinkopaneeleille saadaan kuukausittaiset hyötysuhteen korjaukset kuukauden keskilämpötilaan nähden alla olevalla kaavalla.

$$\eta_{kk} = k_1 * \eta_N * [1 + k_2 * (\delta - 25^\circ\text{C})] \quad (4.2.1)$$

Jossa, k_1 on häviökerroin. Tyypillisesti 0,90 – 0,95
 η_N on aurinkopaneelin hyötysuhde normaaliolosuhteessa
 k_2 on maksimitehon lämpötilakerroin. Yksikidepaneelilla -0,0048 /°C.
 Monikidepaneelille -0,0047 /°C.
 δ on kuukauden keskilämpötila °C

Ottaen huomioon paneelin- sekä ilmaston lämpötilan, hyötysuhteiksi saadaan taulukossa 3 esitetyt arvot.

TAULUKKO 3. Tampereella kuukauden keskilämpötilaan sekä paneelin lämpötilaan verrannolliset tutkittavien aurinkopaneelien hyötysuhteet.

	Keskilämpötila	Hyötysuhde 280W monikide	Hyötysuhde 240W monikide	Hyötysuhde 240W yksikide
Tammi	-6,5	0,179	0,153	0,215
Helmi	-7,13	0,179	0,154	0,216
Maalis	-2,95	0,176	0,151	0,212
Huhti	3,35	0,163	0,140	0,197
Touko	9,69	0,143	0,122	0,172
Kesä	14,26	0,124	0,106	0,149
Heinä	17,03	0,119	0,102	0,143
Elo	15	0,124	0,106	0,149
Syys	9,86	0,135	0,115	0,162
Loka	4,66	0,154	0,132	0,186
Marras	-0,53	0,175	0,150	0,210
Joulu	-4,51	0,178	0,152	0,214

4.3 Investointikustannukset ja sähkötehon tuotto

Tähän kappaleeseen on koottu investointikustannukset ja energian tuotto-odotukset kolmelle tutkitulle järjestelmälle. Valtion energiantuen määrän on oletettu olevan 30 %. Rahoituksen korkoprosentti on laskettu prosenteilla 3.

Kuukauden tuotto-odotus voidaan laskea alla esitetyllä tavalla. Vuosittainen tuotto-odotus on yksittäisten kuukausien tuotto summattuna yhteen.

$$E_{kWh/v} = S * A * \eta_{kk} \quad (4.3.1)$$

Jossa, S on auringonsäteilyn voimakkuus kuukaudessa (kWh/m², kuvio 2)

A on aurinkopaneelin pinta-ala

η_{kk} on aurinkopaneelin hyötysuhde kuukausittain (taulukko 3)

Tarkastelussa käsiteltiin 100m² laajuista paneelistoa aiemmin esiteltyjen yksikide- sekä monikidepaneelien näkökulmasta.

Taulukko 6 esittää 280W monikide pii paneelijärjestelmälle lasketut arvot.

TAULUKKO 6. Victron 280W monikide pii aurinkopaneelin investointikustannukset ja tuotto-odotukset.

280W Victron monikide pii paneeli	
Paneelipinta-ala	100 m ²
Kokonaisteho	14,6 kW
Paneeleita	52 kpl
Hinta (paneelit)	35308 €
Hinta (invertterit)	14560 €
Hinta (muu)	21000 €
Kokonaishinta	70868 €
Kokonaishinta – energiatuki 30 %	49608 €
Energian tuotto vuodessa	12318 kWh/v

Taulukossa 7 on tiedot lähes yllä mainitun tasoisesta paneelistä, mutta hieman heikommilla ominaisuuksilla ja alhaisemmalla hinnalla.

TAULUKKO 7. Zeus 240W monikide pii aurinkopaneelin investointikustannukset ja tuotto-odotukset.

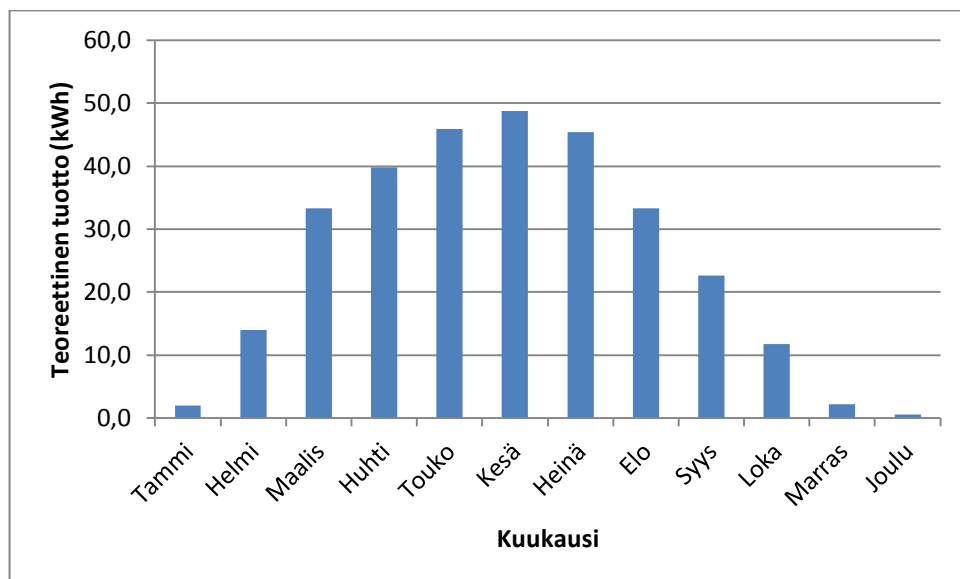
240W monikidepaneeli	
Paneelipinta-ala	100 m ²
Kokonaisteho	12 kW
Paneeleita	52 kpl
Hinta (paneelit)	25428 €
Hinta (invertterit)	12480 €
Hinta (muu)	21000 €
Kokonaishinta	58908 €
Kokonaishinta – energiatuki 30 %	41236 €
Energian tuotto vuodessa	10558 kWh/v

Kolmantena, taulukossa 8, on yksikidepaneeleista kootun järjestelmän tiedot. Verrattain uuden teknologian heikkous, korkea hinta, näkyy kokonaiskustannuksissa. Vuotuinen tehontuotto on selvästi korkeampi kuin edellä mainituilla komponenteilla, mutta korkeiden investointikustannusten vuoksi yksikidejärjestelmä ei tule olemaan taloudellisesti kannattava.

TAULUKKO 8. Sanyo 240W yksikideaurinkopaneelin investointikustannukset ja tuotto-odotukset.

240W yksikidepaneeli	
Paneelipinta-ala	100 m ²
Kokonaisteho	17,52 kW
Paneeleita	73 kpl
Hinta (paneelit)	86870 €
Hinta (invertterit)	17520 €
Hinta (muu)	21000 €
Kokonaishinta	125390 €
Kokonaishinta – energiatuki 30 %	87773 €
Energian tuotto vuodessa	16701,6 kWh/v

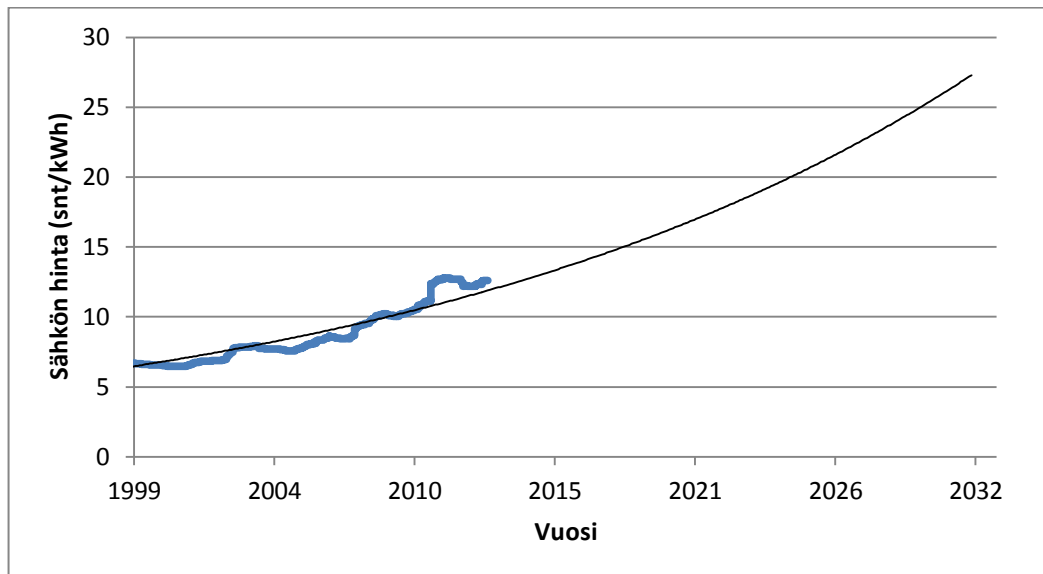
Kuviossa 5 on nähtävissä teoreettisesti laskettu kuukausituotanto 280W monipii rakenteen aurinkopaneelille. Tuotantohiiput keskittyvät kevään ja kesän aikaan, jättäen loppu- ja alkuvuoden prosentuaalisen tuotannon vähäiseksi. Vuoden vaihteessa on myös mahdollista paneelin lumeutuminen, joka vähentää energiansaannin nollaan.



KUVIO 5. 280W monikiteisestä piistä valmistetun aurinkopaneelin teoreettinen kuukausituotanto Tampereen alueella.

4.4 Tuloslaskelmat 20 vuoden jaksolle

Ostetun sähköenergian hinnassa on otettu huomioon seuraavan 20 v. arvioitu hinnan nousu (kuvio 6). Laskelmat suoritetaan myös optimistiselle 8% vuosittaiselle sähkön hinnan nousulle.



KUVIO 6. Sähkön kokonaishinnan kehitys vuosina 1999 – 2013 (sinisellä) sekä trendiviivalla oletettu sähkön hinnan kehitys vuoteen 2032 saakka.

Kannattavuuslaskelmassa käytetään annuiteettimenetelmää, jolla kokonaisinvestointi jaetaan tasaeriksi 20 vuoden tarkastelujaksolle. Annuiteettitekijän laskentakaava on esitetty alla.

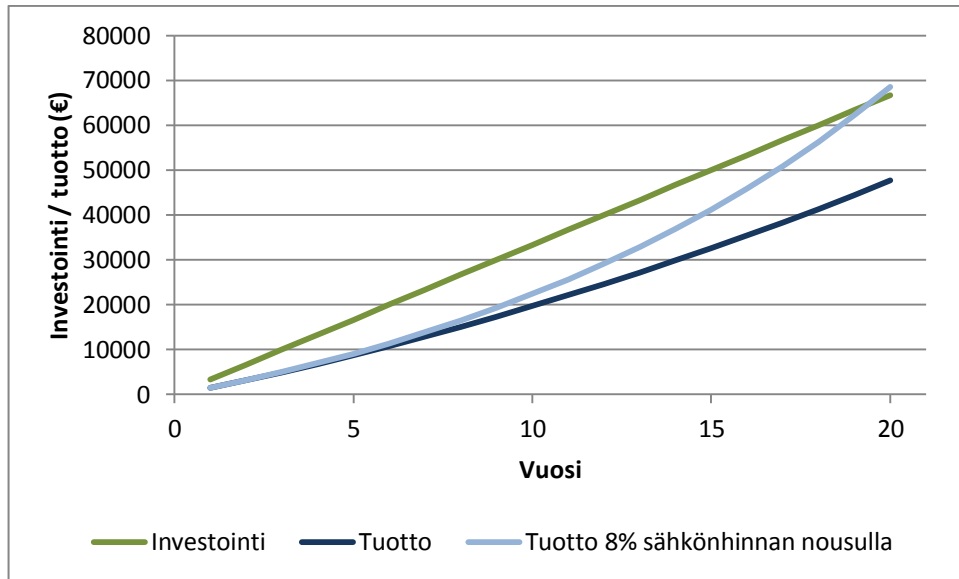
$$c_{n/i} = \frac{i * (1 - i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Jossa, i on korkotaso
 n on laina-aika

Työssä käytetylle 3 % korolle vuotuinen annuiteettitekijä on 0,067. Esimerkiksi 280W monikidepaneelijärjestelmälle vuotuinen investointierä on näin ollen $49608\text{€} * 0,067 = 5615\text{€} / \text{vuosi}$.

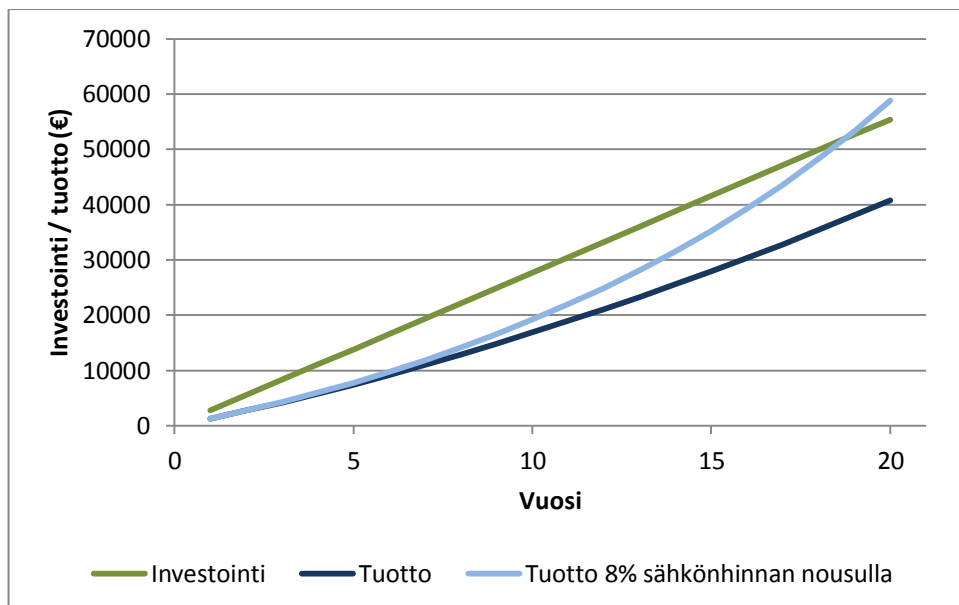
Kuvioissa 7-9 on esitetty tarkasteltavien kokoonpanojen vuotuiset investointikustannukset ja tuotto-odotukset ajan funktiona 20 vuoden tarkastelujaksolle.

Kuviossa 7 Victronin aurinkopaneelien lasketut arvot. Tuotto-odotus ei yllä komponenttien elinkaaren aikana kattamaan investointikustannuksia.



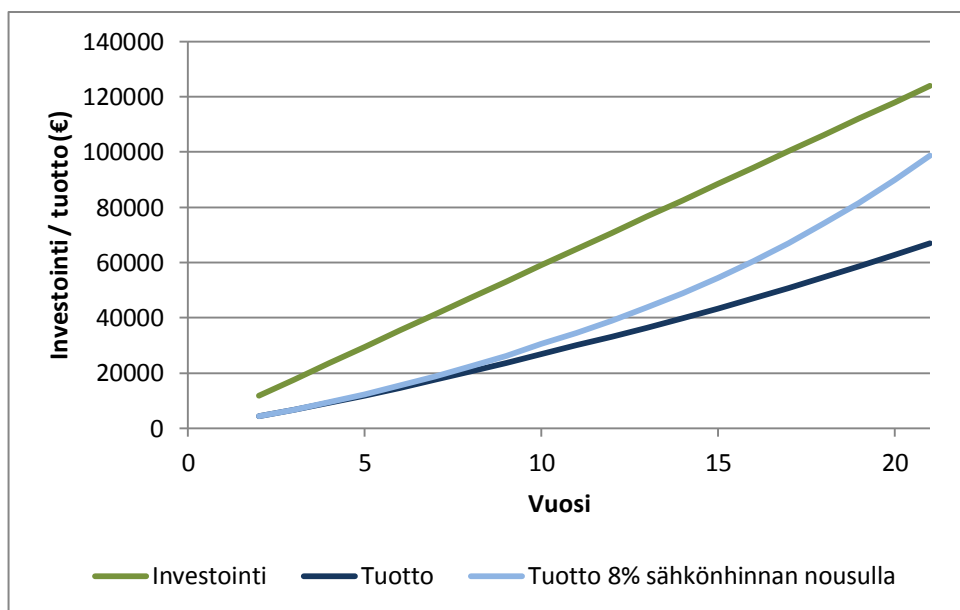
KUVIO 7. 280W Victronin monikidepaneelin investointikustannukset sekä tuotto-odotukset ajan funktiona.

Zeuksen aurinkopaneeleilla tilanne on hieman parempi, joka selittyy alhaisemmilla investointikustannuksilla. Optimistisella 8 % sähkön hinnan nousulla tarkasteltuna investointi muuttuisi voitolliseksi noin 16 käyttövuoden jälkeen.



KUVIO 8. 240W monikidepaneelin investointikustannukset sekä tuotto-odotukset ajan funktiona.

Sanyon valmistetun aurinkopaneelin heikko kannattavuus on pääteltävissä jo yksittäisen paneelin korkeasta hintatasosta (kuvio 9). Vaikka hyötysuhde on jo merkittävästi parempi monikiteiseen piihin verrattuna, on hankintakustannus on niin suuri, ettei yksikideteknologian korkeampi hyötysuhde kykene sitä taloudellisesti pelastamaan. Tässä suhteessa onkin odotettavissa mielenkiintoisia uudistuksia tulevaisuudessa, sillä tällä hetkellä kalliin yksikiteisen kennon valmistushinnat tullee laskemaan merkittävästi teknologian yleistyessä.



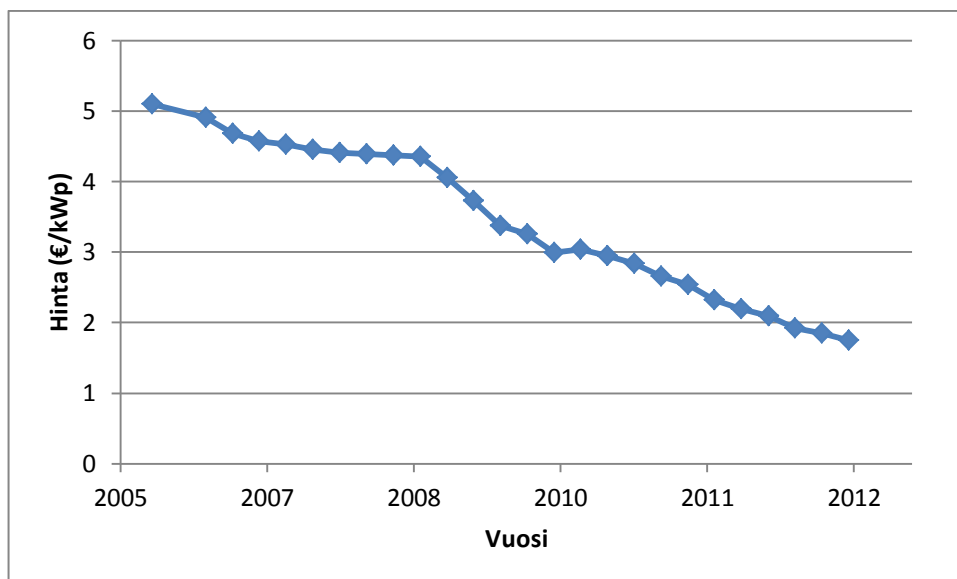
KUVIO 9. 240W yksikidepaneelin investointikustannukset sekä tuotto-odotukset ajan funktiona.

Kuten kappaleen alussa on mainittu, lupaa osa maahantuojista paneeleilleen jopa 25 vuoden energiantuottotakuuta.

4.5 Tulevaisuuden hintakehitys

Ottaen huomioon sähkön markkinahinnan nousun ja aurinkopaneeliteknologian kehityksen, voimme päätellä alan tulevaisuuden potentiaalia. Mikäli sähkön markkinahinta jatkaa kasvuaan vuosien 1999 – 2013 tasolla, on sähkön hinta noussut nykyhetkestään vuoteen 2020 mennessä yli 30 %. Toisaalta, mikäli aurinkosähköisten järjestelmien hintakehitys pysyy nykyisen laisena, voidaan olettaa hintojen olevan vuonna 2020 yli 40 % nykyhetkeä alhaisemmat. Kuviossa 10 on alle 10kWp

aurinkoenergiajärjestelmien hintakehitys Saksassa vuosina 2006 – 2012. Saksassa ala on myötätuulessa pääosin tukijärjestelmien ansiosta.



KUVIO 10. Aurinkoenergiajärjestelmien hintakehitys Saksassa (€ / kWp) vuosina 2006 – 2012. Kaavio kattaa alle 10 kWp järjestelmät asennettuina. (BSW Solar, 2012)

Vertailtaessa pii-kennoja, kuluu valmistukseen käytetystä rahasta suurin osa nimenomaan piihin. Piin ylituotantoa on vuoden 2013 alkupuolella niin voimakkaasti, että valmistajat joutuvat myymään piitä lähes tappiollisesti. Tämä laskee pii-kennojen valmistushintaa merkittävästi ja osaltaan vääristää lupaavalta näyttävää aurinkopaneelien hintakehitystä.

Piin lisäksi on kehitys asteella useita uusia teknologioita, jotka laboratorio-olosuhteissa kykenevät jo lähes piikennojen hyötysuhteisiin. Alan tulevaisuus nojaakin osittain näiden kehitteillä olevien innovaatioiden harteilla, sillä pii-kennojen teknologinen kehitys väistämättä saavuttaa aikanaan kyllästymispisteensä.

Suomen osalta yksi merkittävä alaa jarruttava tekijä on myyntihinnat. Työssä tarkasteltu Sanyo HIT 240 yksikide-pii paneeli maksaa suomessa 1190 €. Kirjoitushetkellä löytyy Pohjoisamerikkalaisesta verkkokaupasta kyseinen paneeli hintaan 457 €. Suomesta ostettu paneeli tuo näin ollen lisähintaa 160 %. Tällä hinnan alennuksella sama aurinkopaneelijärjestelmä muuttuisi taloudellisesti kannattavaksi.

5 SUOMALAISIA AURINKOENERGIAPROJEKTEJA

Viime vuosina tehtaات ja julkiset rakennukset Suomessa ovat rohkeasti investoineet uusiin aurinkoenergiահankkeisiin. Syinä tähän voivat olla muun muassa teknologian kehittymisen myötä lyhentynyt takaisinmaksuaika ja yhteiskunnassa yleisesti vallitseva vihreän ajattelun ilmapiiri. Aurinkoenergian käytöllä voidaan nostattaa yrityksen imagoa ympäristötietoisena toimijana ja hyödyntää samalla puhtaasti tuotettua energiaa yrityksen tarpeisiin. Tässä kappaleessa käsitellään tarkemmin Suomalaisten yritysten toimipisteisiinsä investoimia aurinkoenergiահankkeita.

5.1 ABB:n taajuusmuuttajatehdas Helsingissä

Kesällä 2010 elinkeinoministeri Mauri Pekkarinen vihki käyttöön pohjoismaisittain merkittävän aurinkosähkövoimalan. Voimala sijaitsee Helsingin Pitäjänmäellä ABB:n taajuusmuuttajatehtaan katolla, ja kokonaistehollaan 181kW se on pohjoismaiden suurin valtakunnan verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä.

Tuotettu sähkö käytetään trukkien lataamiseen ja kulutushuippujen leikkaamiseen. Kulutushuippujen leikkaamisella tarkoitetaan rakennuksen jäähdytyksen ja ilmastoinnin kulutusta, jotka ovat kesällä samanaikaisesti voimalan huipputuotannon kanssa. Järjestelmä on liitetty sähköverkkoon, jonne myös mahdollinen ylituotanto siirretään.

Voimalan kokonaispinta-ala on noin 1 250 m² joka sisältää noin 870 aurinkokennoa. Arvioitu vuosituotanto on 160 000 kWh, joka vastaa 30 kotitalouden vuotuista sähkönkulutusta. Investointikustannukset ovat noin 500 000 €, johon on myönnetty Työ- ja elinkeinoministeriön energiatuki. (ABB 2010).



KUVA 9. Aurinkosähkövoimala ABB:n taajuusmuuttajatehtaan katolla Helsingissä. (ABB 2012)

Tarkempia kuukausituotannon statistiikkoja ABB ei voinut luovuttaa, mutta näillä tiedoilla voi tehdä karkean arvion järjestelmän takaisinmaksuajasta. Tässäkin

tapauksessa rahallinen hyöty on toissijainen asia, sillä ABB käyttää aktiivisesti kyseistä aurinkopaneelistoa testikenttänä kehittäessään ja testatessaan alalle uusia komponentteja.

Kokonais investointikustannukset ilmoitetaan olevan 500 000 €, johon on myönnetty Työ- ja elinkeinoministeriön energiatuki. Kohdassa 5.2 esiteltujen tukikriteerien ja määrien nojalla voimme olettaa energiatuen olevan 30 % investointikustannuksista. Yrityksen osuus summasta on siis $0,7 \cdot 500\,000\text{ €} = 350\,000\text{ €}$.

Energiamarkkinaviraston tilastoiden mukaan sähkön keskihinta seuraavan 20 vuoden ajalta on noin 18 snt/kWh. ABB kertoo vuosituotannon olevan 160 000 kWh. Kyseinen määrä tehoa ostettuna sähköyhtiöltä maksaa siis $18\text{ snt/kWh} \cdot 160\,000\text{ kWh} / 100 = 28\,800\text{ €}$.

Takaisinmaksuaika ottamatta huomioon huoltokustannuksia on näin ollen $350\,000\text{ €} / 28\,800\text{ €} = 12,15\text{ v.} \sim 13\text{ vuotta}$.

Kyseisen yrityksen tapauksessa tulee kuitenkin muistaa, että monet komponenteista tulevat mahdollisesti yrityksen omalta tehtaalta vähentäen investointikustannuksia. Rahallisen hyödyn lisäksi paneelisto on yritykselle hyvin arvokas autenttisenä testikenttänä uusien tuotteiden kehitysprosessissa. Kohde onkin erinomainen esimerkki yrityksestä, jossa suurikokoinen aurinkopaneelisto voi tulla kannattavaksi.

5.2 Porin uimahalli

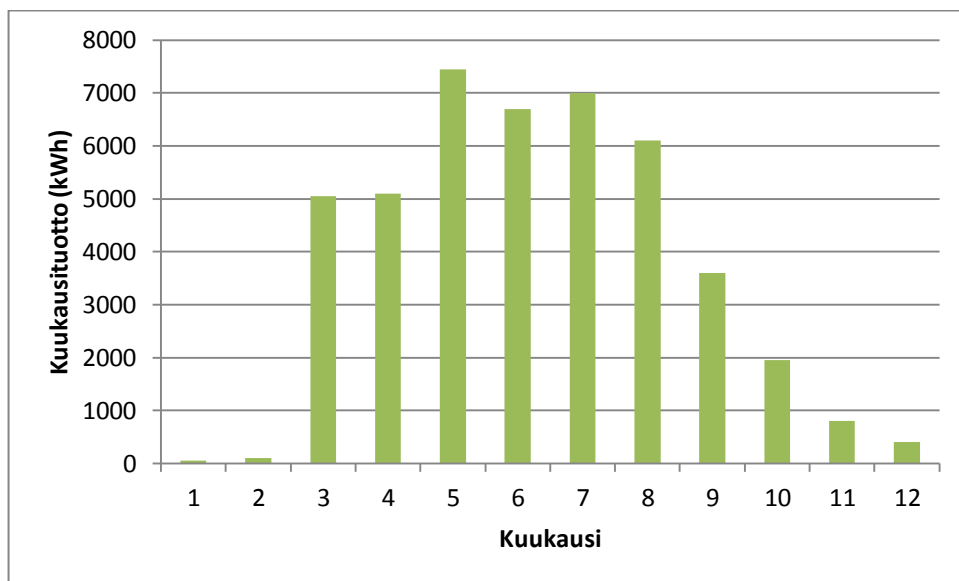
Suomen ensimmäinen aurinkoenergiaa hyödyntävä uimahalli valmistui Poriin vuonna 2011. Kohteessa on julkisivuun asennettuja huomaamattomia aurinkokeräimiä, sekä katolle asennettua aurinkokeräin- ja aurinkosähkökapasiteettia.

Yhteensä 360 m² suuruisella aurinkopaneelijärjestelmällä tuotetaan sähköä noin 45 000 kWh vuosittain (huipputeho 52,5 kW), joka vastaa noin kolmea prosenttia hallin sähkönkulutuksesta. Aurinkokeräimillä tuotetaan 120 000 kWh vuosittain, joka on noin viisi prosenttia hallin lämmöntarpeesta. Investointikustannukset ovat noin 600 000 €. (Porin Kaupunki 2011; YLE Uutiset 2009).



KUVA 10. Aurinkoenergiaa hyödynnetään Porin uimahallissa sähkön- ja lämmöntuotantoon. (Kuva: Lauri Hietalahti. 2012)

Kuviossa 11 on esitetty Porin uimahallin keskimääräinen sähköenergiantuotanto kuukausittain vuosien 2011 – 2012 keskiarvona.



KUVIO 11. Porin uimahallin kuukausittainen keskiarvollinen yhteistuotanto (kWh) vuosina 2011 – 2012.

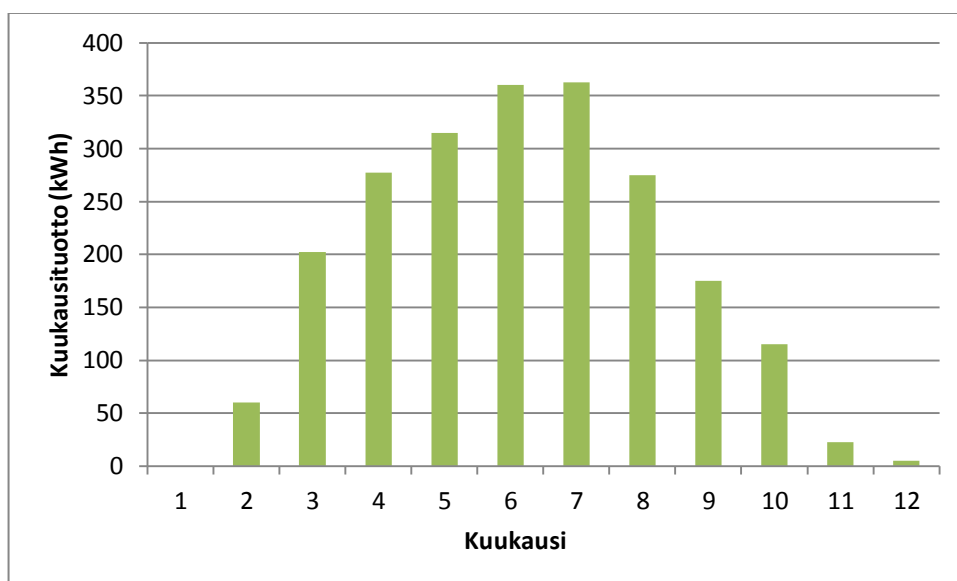
5.3 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopistolle Mattilanniemeen on asennettu 2,6 kW aurinkosähköjärjestelmä. Agora –rakennuksen katolla on 20 monikiteisestä piistä valmistettua paneelia asennettu 40^o kallistuskulmaan ja suunnattu suoraan etelään. Laskennallinen vuosituotanto on noin 2 000 kWh sähköä. (Motiva 2012).



KUVA 11. Aurinkopaneelit Jyväskylän yliopistolla. (Kuva: Jussi Maunuksela, Jyväskylän yliopisto)

Kuviossa 12 on esitetty Jyväskylän yliopiston keskimääräinen energiantuotanto kuukausittain vuosien 2010 – 2011 keskiarvona.



KUVIO 12. Jyväskylän yliopiston aurinkopaneelien kuukausittainen keskiarvotuotanto (kWh) vuosina 2010 – 2011.

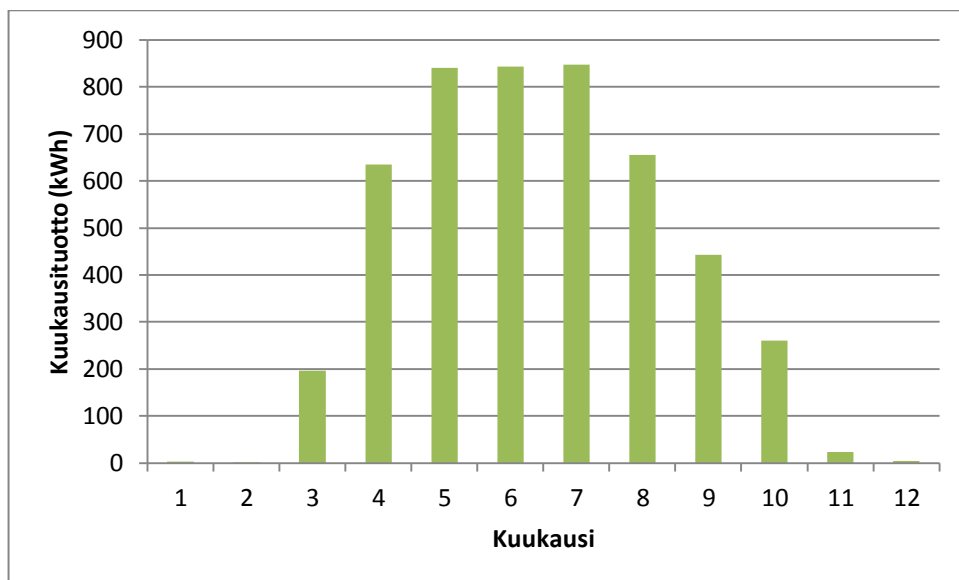
5.4 Saarijärven keskuskoulu

Saarijärven keskuskoululle asennettiin 33 aurinkopaneelista koostuva aurinkosähköjärjestelmä vuonna 2005. Yhteenlaskettu pinta-ala on 33m², asennuskulma 45⁰ ja suuntaus kohti etelää. (Motiva 2012).



KUVA 12. Saarijärven keskuskoulu (kuva: Ari Kaski, Jyväskylän yliopisto)

Kuviossa 13 on esitetty Saarijärven koulun keskimääräinen energiantuotanto kuukausittain vuosien 2009 – 2012 keskiarvona.



KUVIO 13. Saarijärven keskuskoulun aurinkopaneelien kuukausittainen keskiarvotuotanto (kWh) vuosina 2009 – 2012.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT

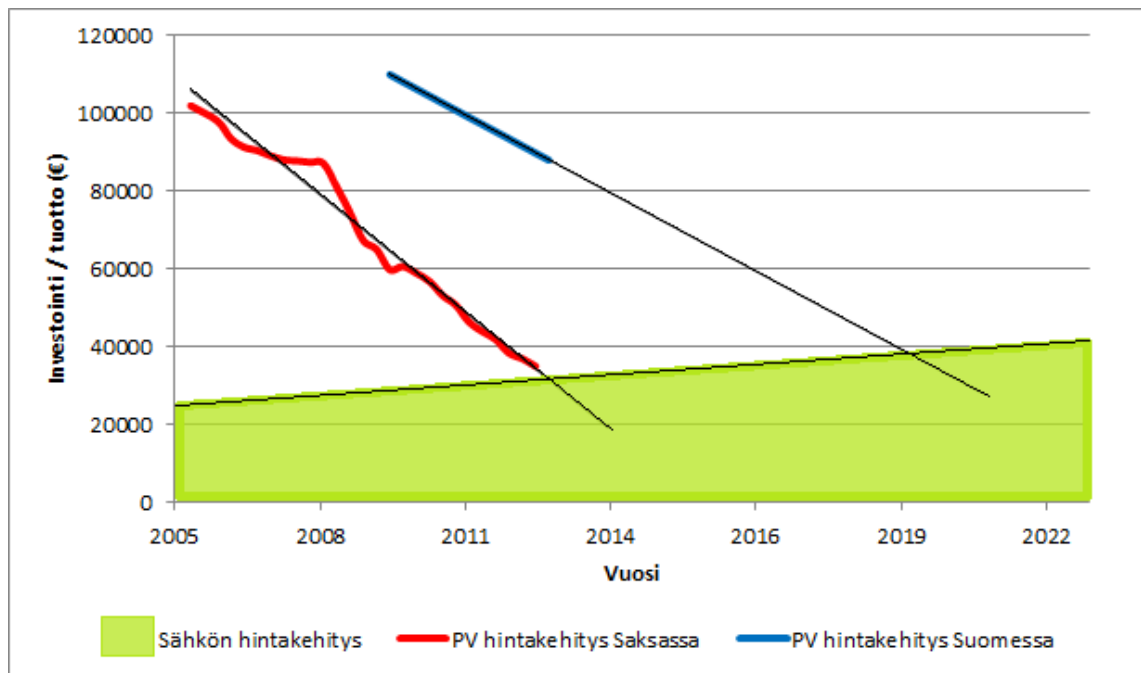
Aurinkosähköisillä järjestelmillä on valtava potentiaali, ja ala todennäköisesti tulee kasvamaan maailmalla merkittäväksi energiantuotantomuodoksi. Tämän hetken tekniikat ja kuluttajahinnat eivät vielä ole siinä pisteessä, joka houkuttelisi suomalaisia suurkiinteistöjä suurempiin investointeihin.

Syöttötariffin käyttöönotto olisi varma tapa kasvattaa PV teknologiaan investointia myös Suomessa. Uudet päästösopimukset tuovat paineita siihen suuntaan, joten hyvin todennäköisesti syöttötariffijärjestelmä rantautuu aikanaan myös Suomeen. Jos näin tapahtuu, tulee aurinkoenergia-ala hyvin todennäköisesti kasvamaan. Siihen saakka ala tulee Suomessa laahaamaan PV teknologian kärkimaiden jäljessä.

Energian varastointi on myös ratkaisua kaipaava ongelmakohta. Pohjoisella napapiirillä sähköenergiaa tarvitaan talvella, jolloin aurinkopaneelit eivät tuota energiaa. Kesällä tuotettu energia tulisi saada varastoitua talven huippukulutusta varten, joka ei tämän hetken teknologialla ole mahdollista.

Kuviossa 14 on esitetty ennuste PV teknologiaan investoinnin kannattavuudesta. Tarkastelukohteena on aiemmin esitetty 100m² suuruinen Victronin 280W monipiipaneeli.

Sininen viiva esittää järjestelmän investointikustannusten kehitystä Suomessa. Punainen viiva esittää vertailukohtaisesti PV teknologian hintakehitystä Saksassa. Vihreä alue kuvaa tilannetta jossa investointi on kannattavaa ennustetuilla hintojen nousuilla. Tilanne jossa PV hintakehityksen viiva leikkaa sähkön hinnan viivan, kutsutaan Grid-Parityksi. Tutkijoiden arviot Grid-Parity hetkestä vaihtelevat vuosien 2015 – 2025 välillä. Tämän tutkintotyön laskelmien pohjalla voimme esittää väitteen, että Grid-Parity saavutetaan Suomessa noin vuonna 2020.



KUVIO 14. Sähkön, ja PV teknologian hintakehityksen ennustus ja kannattavuuspiste.

Kannattaako suomalaisten yritysten siis investoida aurinkosähköisiin tehontuottojärjestelmiin? Tämän tutkimuksen tuloksiin pohjautuen ei. Tällä hetkellä teknologiat eivät ole sillä tasolla, että investoinnista voitaisiin odottaa rahallista tuottoa. Tutkimuksessa käsitelty järjestelmä tuottaa suurkiinteistön katolle sijoitettuna elinikänsä aikana yli 250 MWh energiaa. Tämä määrä energiaa poistaa noin 100 grammaa ydinjätettä, tai 200 tonnin hiilen tarpeen. Tähän lisättynä kiinteistön mahdollinen muu hyöty uusiutuvan teknologian käytöstä saattaa vaakakupin ainoastaan ilmaston tulevaisuutta ajatellen kannattavalle puolelle.

Tulevat vuodet näyttävät mihin suuntaan aurinkoenergia-ala kehittyy, mutta työssä esiteltujen tutkimusten ja perusteluiden nojalla tulevaisuus näyttää hyvältä. Vastassa on kuitenkin monta muuttujaa joita on hyvin vaikea ennustaa.

LÄHTEET

GeoSystems. Geothermal – Solar Energy Stored in the Ground. Luettu 30.11.2012.
<http://www.gogogeo.com/about-geothermal/how-geothermal-works/geothermal-solar>

Tekniikka & Talous. 2007. Maailman päästösopimus sai tiukan alun. Luettu 13.12.2012.
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/ilmastonmuutos/maailman+paastosopimus+sai+tiukan+alun/a28287>

University of Oregon. 2012. Solar radiation monitoring laboratory. Luettu 27.11.2012.
<http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Recharge News. 2010. 370MW Ivanpah solar power tower project approved in California. Luettu 4.12.2012.
<http://www.rechargenews.com/energy/solar/article230184.ece>

Kompo2010. 2010. Aurinkokenno. Luettu 4.12.2012.
<http://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>

EnergyNext. 2012. CSP could help achieve India's energy future. Luettu 27.3.2013.
<http://www.energynext.in/csp-help-achieve-indias-energy-future-report/>

Genergia. 2013. Aurinkopaneeli. Luettu 27.3.2013.
<http://www.genergia.fi/aurinkopaneeli/>

Co2-raportti. 2011. 3D-teknologialla tehokkaampia aurinkokennoja. Luettu 27.3.2013.
http://www.co2-raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news_id=3008

Hietalahti, L. 2011. Tehoelektroniikan perusteet s.91. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

MdsIdeas. 2006. Photovoltaic map. Luettu 27.3.2013.

http://www.mdsideas.com/unwto/wp-content/themes/hes/images/photovoltaic_map.jpg

Energia-auringosta. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Luettu 9.1.2013.

<http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>

Pres. 2011. PV Applications & Types. Luettu 13.3.2013.

http://www.pres.org.pk/wp-content/uploads/2011/08/home_solar_power_system.jpg

ABB. 2010. ABB alkaa hyödyntää aurinkosähköä 3 000 työpaikan tehdasalueellaan Helsingin Pitäjänmäellä. Luettu 13.12.2012.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/7574A46A60DB78A5C1257743003F82D5.aspx>

ABB. 2012. Ladattavat kuvatiedostot. Luettu 3.12.2012.

[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/edb593cb7dd62abdc12577430045318d/\\$FILE/ABB_Aurinkovoimala_Hki_1.jpg](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/edb593cb7dd62abdc12577430045318d/$FILE/ABB_Aurinkovoimala_Hki_1.jpg)

Porin Kaupunki. 2011. Porin uusi uimahalli käyttää aurinkoenergiaa. Luettu 3.12.2012.

<http://www.pori.fi/uutiset/2011/09/porinuusiuimahallionkaikenkansanvirkistyskeidas.html>

Motiva. 2012. Porin uimahalli. Luettu 13.12.2012

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahkojarjestelmien_seuranta/porin_uimahalli

YLE Uutiset. 2009. Aurinko tehokäyttöön Porin uimahallissa. Luettu 3.12.2012.

http://yle.fi/uutiset/aurinko_tehokayttoon_porin_uimahallissa/5877863

Savonia. Aurinkoenergia. Luettu 4.12.2012.

<http://dmkk.savonia.fi/energiabara/images/stories/aurinkoenergia.pdf>

Motiva. 2012. Jyväskylän yliopisto. Luettu 13.12.2012.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahkojarjestelmien_seuranta/jyvaskylan_yliopisto

Motiva. 2012. Saarijärven keskuskoulu. Luettu 13.12.2012.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahkojarjestelmien_seuranta/saarijarven_keskuskoulu

TEM. 2013. Energiatuki. Luettu 27.3.2013.

<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3091>

TEM. 2013. Tuettavat hankkeet. Luettu 27.3.2013.

<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3092>

TEM. 2013. Tuen määrä. Luettu 27.3.2013.

<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3093>

TEM. 2013. Hakeminen ja maksatus. Luettu 27.3.2013.

<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3094>

BSW Solar. 2012. Statistische Zahlen der deutschen

Solarstrombranche (Photovoltaik). Luettu 2.4.2013.

http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bsw_solar_fakten_pv.pdf

Suntekno. 2013. Aurinkopaneelit. Luettu 11.4.2013.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Suomen vuosittainen aurinkoenergiapotentiaali

